

Treball de fi de grau

Enginyeria en tecnologies industrials

Memòria



DESENVOLUPAMENT D'UN SISTEMA ALTERNATIU PER AL RECOMPTE DE VEHICLES

Autor: Pere Puig Sallés

Director: Jesús Álvarez

Abril 2020



Resum

En aquest document s'explica l'elaboració d'un programa amb el llenguatge de programació MATLAB que és capaç de fer el recompte de vehicles que passen per una via de trànsit rodat i a la vegada fa el càlcul de les seves respectives velocitats. El sensor utilitzat per a detectar els vehicles és el RPLIDAR A1M8. L'objectiu del treball és trobar una alternativa més econòmica als sistemes d'aforament de vehicles actuals, mantenint els serveis que aquests ens ofereixen.

Origen

L'origen del projecte surt quan es veu que actualment hi ha uns sistemes de control d'aforament de vehicles en els carrers de Barcelona amb un cost elevat i molta capacitat de control: en vies de molts carrils, amb classificació de vehicles, de control de velocitat,... però que potser falten sistemes més barats, que tenen menys capacitat de treball però que compleixen amb l'objectiu de controlar l'aforament de vehicles.

Motivació

Aplicar els coneixements matemàtics i de programació adquirits durant el grau i poder aportar el meu gra de sorra a la ciència i sobretot a la Universitat que m'ha format, ajudant al professorat amb un dels projectes que tenen en marxa i que volen desenvolupar amb l'ajuda del alumnat.

ÍNDEX

RESUM	2
ORIGEN.....	2
MOTIVACIÓ	2
1 INTRODUCCIÓ	6
1.1 OBJECTIUS.....	6
1.2 ABAST	7
2 SISTEMES ACTUALS.....	8
3 SISTEMA D'INSTRUMENTACIÓ.....	11
3.1 SELECCIÓ DE L'INSTRUMENT DE MESURA.....	11
3.1.1 <i>Funcionament del RP LIDAR A1M8</i>	11
3.1.2 <i>Aplicacions actuals</i>	12
3.1.3 <i>Abast</i>	12
4 PRESSUPOST	12
4.1 LLAÇ MAGNÈTIC (DETECTOR DE LLAÇ)	13
4.2 RPLIDAR A1M8	13
4.3 COMPARATIVA DE PREUS	14
5 LENGUATGE UTILITZAT	14
5.1 ADAPTACIÓ DEL SENSOR AL MATLAB.....	14
5.2 ESTRUCTURES UTILITZADES.....	15
5.2.1 <i>Variables</i>	15
5.2.2 <i>Matrius</i>	15
5.2.3 <i>Estructures</i>	15
5.3 INTERFÍCIE GRÀFICA	15
6 PROGRAMA INFORMÀTIC.....	16
6.1 INTERFÍCIE	16
6.2 OBTENCIÓ DE LES DADES	18
6.3 ANÀLISI DE DADES	23
6.3.1 <i>Eliminació de soroll</i>	24
6.3.2 <i>Organització</i>	25
6.3.3 <i>Interpretació</i>	27
7 RESULTATS	35
7.1 VERIFICACIÓ DELS RESULTATS	37
7.1.1 <i>Experiment 1</i>	37
7.1.2 <i>Experiment 2</i>	38

8	IMPACTE AMBIENTAL	41
9	CONCLUSIONS DEL TREBALL	41
10	PROPOSTES DE MILLORA	42
11	AGRAÏMENTS.....	42
12	BIBLIOGRAFÍA.....	42

1 INTRODUCCIÓ

Barcelona és actualment una de les ciutats més transitades d'Europa. És per això que és necessari implementar sistemes de control per la regulació del trànsit i d'aquesta manera poder aplicar canvis dins la ciutat per millorar la qualitat del transport del ciutadà.

Barcelona disposa actualment de diferents tipus de sistemes per a controlar el tràfic, com podrien ser: llaços inductius, sensors TDM, radar FMWC (freqüència modulada d'ona completa),... Aquests sistemes tenen avantatges i inconvenients. Per una banda, són sistemes molt precisos amb una versatilitat elevada i que poden abastar vies de trànsit rodat molt àmplies. Per altra banda, són solucions cares d'instal·lar, de mantenir i poden tenir un risc, ja que algunes d'elles s'han d'instal·lar en el paviment. És per això que en aquest projecte una de les sol·licitacions més importants serà l'estalvi econòmic en comparació a les solucions actuals, intentant mantenir la qualitat dels serveis que ens ofereixen les alternatives actuals.

1.1 Objectius

Els objectius del treball són dissenyar, desenvolupar, provar i verificar un sistema d'aforament de vehicles amb el llenguatge de programació MATLAB, que permeti detectar i comptar els vehicles amb les seves respectives velocitats que passen per una via de trànsit rodat, en diferents situacions, amb el sensor RP Lidar A1M8, que és un dels sensors de que disposa el departament de *Motors i Màquines Tèrmiques* de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. En tot el treball s'entendran les vies de trànsit rodat com a aquelles vies per on passen vehicles a motor.

En aquest projecte s'estudia la viabilitat d'utilitzar el sensor RP Lidar AM18 com un sistema d'aforament de vehicles malgrat aquest sensor no està específicament dissenyat per aquest fi. Si els resultats de l'estudi s'adeqüen als requeriments d'abast i fiabilitat dels sistemes d'aforament de vehicles actuals, aquest sensor pot ser una alternativa més econòmica als models existents.

Durant tot el projecte es tindran en compte els requeriments següents:

- Produir un estalvi econòmic en relació als sistemes actuals d'aforament de vehicles.
- Maximitzar la precisió dels resultats en funció de les prestacions que ens dona l'aparell de mesura (RPLIDAR A1M8).
- Oferir els mateixos serveis que ens donen altres alternatives d'aforament de vehicles.

D'aquesta manera es podrà donar la informació obtinguda als responsables de les vies per a possibles millores de les vies, com també oferir informació valuosa per a encarar millor futurs projectes.

1.2 Abast

L'abast del projecte és el de dissenyar un prototip funcional que compleixi amb els objectius del projecte, sense arribar a un disseny definitiu. Amb aquest treball es pretén:

- Donar a conèixer la tecnologia que disposa el departament de *Màquines i Motors Tèrmics* del ETSEIB per assolir els objectius del projecte. Com també, els models actuals al mercat que realitzen aquestes funcions.
- Crear un codi de programació que compleixi amb els objectius ja esmentats.
- Fer una proposta per la continuació i millora del projecte.
- Anàlisi econòmic del projecte.

La interpretació de les dades llegides pel sensor es fa en diferit: la lectura de dades per part del sensor es desa en un arxiu i el programa dissenyat llegeix les dades d'aquest arxiu, les analitza i produeix un informe final.

L'algorisme dissenyat i implantant per a fer el recompte de vehicles s'ha restringit a les condicions següents:

- Es detecten els vehicles que circulen entre 1 i 3 carrils.
- Els vehicles han de circular en el mateix sentit.
- Les vies on els vehicles s'aturen queden fora de l'abast del projecte.

2 SISTEMES ACTUALS

Per a fer el recompte de vehicles s'utilitzen els anomenats sistemes d'aforament de vehicles, que són uns sistemes que permeten tant el recompte de vehicles, com la classificació del tipus de vehicles (pesats o lleugers) o la velocitat a la que circulen. Això permet als responsables de les carreteres planificar millor els projectes, en funció del trànsit suportat, les necessitats del ciutadà, la zona en la que es troben,...

Actualment, aquests sistemes ofereixen la possibilitat d'enviar les dades de manera automàtica a un centre de control, la qual cosa permet conèixer en temps real l'estat del tràfic existent a les diferents zones monitoritzades.

Existeixen diferents tipus de sistemes d'aforament de vehicles que es classifiquen segons la forma utilitzada de detecció (Plataforma Tecnológica Español de la Carretera, 2011).

DETECTORS DE PRESSIÓ

Aquest tipus de detectors s'encasten al paviment i detecten el pas del vehicle per la pressió que aquest exerceix sobre el sistema detector. Aquest sistema consisteix en una planxa de cautxú on a l'interior s'hi situen dues làmines metàl·liques molt properes entre sí que estableixen contacte quan hi passa un vehicle que supera un cert pes. Tot el mecanisme està situat a la part superior d'una plataforma de formigó o en alguns casos metàl·lica que s'encasta en el paviment.

Es pot aconseguir una detecció direccional si en comptes de les dues làmines se'n posen 4, enfrontades dos a dos.

DETECTORS MAGNÈTICS

Aquests sistemes utilitzen la distorsió del camp magnètic produïda pel pas del vehicle sobre els detectors d'una massa metàl·lica per detectar-lo. Estan formats per un tub metàl·lic a l'interior del qual hi ha un nucli de ferro amb una bobina connectada a un amplificador. Els detectors que fan servir aquesta tecnologia no diferencien la direcció del moviment. Més tard, aquests detectors van evolucionar fins els detectors magnètics compensats, formats per quatre nuclis, i que permeten distingir el sentit de la marxa de la massa metàl·lica que circula sobre ells.

DETECTORS DE LLAÇ

Constitueixen el tipus de detector més utilitzat en les vies públiques actuals. El seu principi de funcionament es basa en emprar les característiques d'un llaç magnètic situat sobre la superfície de la carretera. Les fluctuacions elèctriques produïdes per l'aproximació d'un objecte metàl·lic detecten la presència d'un vehicle. Mentre circula un corrent altern pel llaç metàl·lic situat sobre la carretera, es crea un camp magnètic de la mateixa freqüència a prop de la superfície de la carretera. Si un objecte metàl·lic entra en aquest camp magnètic, llavors la inducció magnètica causa corrents sobre l'objecte

metàl·lic i com a resultat es produeix una variació en la impedància a la sortida del llaç magnètic. Quan es detecta un canvi d'impedància es detecta un vehicle. El canvi d'inductància provocat pel pas de vehicles varia segons el tipus de vehicle. Aquest tipus de detectors són més sensitius a vehicles petits que a vehicles de gran volum. Entre les mesures que aquest tipus de detector de trànsit pot proporcionar destaquen les següents:

- Presència d'un vehicle.
- Tipus de vehicle (mitjançant l'ús de tècniques de reconeixement de patrons és possible diferenciar entre sis o més tipus de vehicles).
- Velocitat del vehicle (mitjançant l'ús de llaços dobles).
- Període de temps entre vehicles.

DETECTORS DE RADAR

Consten d'un aparell emissor i un altre receptor d'ones electromagnètiques que generalment se suspenen sobre la via o es col·loquen lateralment a ella. En l'actualitat es fan servir dos tipus de detectors de radar de microones en les aplicacions de gestió del trànsit: El primer transmet energia electromagnètica a una freqüència constant mesurant la velocitat dels vehicles dins del seu camp de visió usant l'efecte Doppler, en el qual la diferència de freqüència entre els senyals transmeses i rebudes és proporcional a la velocitat del vehicle. Per tant, la detecció d'una variació en la freqüència determina el pas d'un vehicle. Aquest tipus de sensor no pot detectar vehicles aturats i, per tant, no és adequat per a aplicacions que necessiten detectar la presència de vehicles com ara regulació de semàfors o línies de parada obligatòria. El segon tipus de detector de radar de microones transmet una ona en forma de dent de serra, també anomenada ona contínua modulada en freqüència, que varia la freqüència transmesa de forma contínua en el temps. Els vehicles aturats es detecten mesurant el rang des del detector fins al vehicle i també calculant la velocitat del vehicle mesurant el temps que tarda el vehicle a viatjar entre dues marques internes conegudes pel radar.

DETECTORS PASSIUS DE INFRARROJOS

Aquest tipus de dispositiu és capaç de detectar el pas i la presència de vehicles, però no la seva velocitat. El seu mètode de funcionament es basa en un detector sensitiu a l'energia de fotons col·locats en un pla focal per mesurar l'energia infraroja emesa pels objectes en el camp de visió del detector. Quan un vehicle entra a la zona de detecció produeix un canvi en l'energia mesurada normalment des de la superfície de la via en absència de vehicles. El canvi en l'energia és proporcional a la temperatura absoluta del vehicle i de la pròpia emissivitat de la superfície. És important destacar que la diferència d'energia que és capaç de detectar aquest detector es redueix davant condicions meteorològiques adverses (pluja, neu, boira, ...).

DETECTORS ACTIUS DE INFRARROJOS

El seu funcionament és similar al dels detectors de radar per microones. Els més comuns utilitzen un díode làser per emetre energia en l'espectre proper a l'infraroig, una porció del qual torna al receptor del detector des del vehicle del seu camp de visió. Els detectors basats en el radar làser poden subministrar la presència, el pas i la velocitat de vehicles. La mesura de la velocitat es realitza calculant el temps que tarda un vehicle a creuar dos feixos d'infrarojos que estan situats a una distància coneguda. Alguns d'aquests detectors són capaços de classificar els vehicles contrastant les mesures amb uns fixers models.

DETECTORS ULTRASÒNICS

Els detectors ultrasònics emeten sons a una freqüència entre 25 KHz i 50 KHz. Aquestes freqüències són a la franja audible. Una porció de l'energia transmesa es reflecteix des de la carretera o la superfície del vehicle de nou al detector i així poder detectar la presència d'un vehicle. Un detector típic de presència ultrasònic emet energia ultrasònica en forma de polsos. El temps que el porta el pols a deixar el detector, xocar contra la superfície i tornar al detector és proporcional al rang del detector a la superfície. Quan un vehicle s'introdueix en el seu camp de visió es mesura el rang des del detector fins al vehicle, obtenint-se un rang menor que el produït sobre la via el que produeix en el detector una senyal de detecció d'un vehicle.

DETECTORS ACÚSTICS PASSIUS

El trànsit de vehicles produeix una energia acústica o un so audible des d'una varietat de fonts dins del vehicle i des de la interacció dels pneumàtics del vehicle amb la superfície de la via. Quan un vehicle passa per la zona de detecció, l'algoritme de processament de senyals detecta un increment respecte a l'energia del so i es genera un senyal de presència de vehicle. Quan el vehicle abandona la zona de detecció, l'energia del so decreix per sota d'un nivell de detecció llindar, i d'aquesta manera acaba el senyal de presència del vehicle.

PROCESSADORS D'IMATGES DE VÍDEO

Aquests detectors identifiquen els vehicles i els seus paràmetres de flux de trànsit associats mitjançant l'anàlisi de les imatges subministrades per càmeres de vídeo. Aquestes imatges es digitalitzen i s'analitzen per identificar els canvis observables entre imatges successives, és a dir, els canvis dels nivells de contrast entre píxels adjacents. Per tant aquests detectors poden subministrar informació sobre el pas, presència, velocitat, longitud i canvis de carrils de vehicles segons sigui el tipus de tècnica de processament d'imatges utilitzada.

3 SISTEMA D'INSTRUMENTACIÓ

Per a decidir quin és l'instrument de mesura que s'utilitza es té en consideració el cost de l'instrument, la facilitat d'instal·lació a la via i les característiques del propi aparell que s'adaptin als objectius del treball. S'ha considerat que la millor tecnologia per afrontar el problema que es vol solucionar és la tecnologia LIDAR.

La tecnologia LIDAR ens permet obtenir un núvol de punts a partir d'un escàner làser. L'aparell envia una senyal dirigida cap a un punt i calcula el temps de retorn, d'aquesta manera, només sabent cap a quina direcció s'ha enviat aquesta senyal es pot saber la distància que hi ha entre el sensor i el punt.

Es podria separar la tecnologia LIDAR en dues parts, aquella que té aplicacions en 3D i la que s'utilitza en 2D. En el nostre cas, s'utilitzarà un sensor 2D, ja que és una tecnologia molt més barata que ens pot oferir les eines necessàries per arribar a l'objectiu desitjat.

3.1 Selecció de l'instrument de mesura

El sensor utilitzat en aquest projecte és el RP LIDAR A1M8 que és, actualment, un dels sensors amb tecnologia làser més econòmics. A més a més, per la utilització d'aquest sensor no cal fer cap instal·lació a la via urbana ni interferir en la circulació dels vehicles, la qual cosa, ha facilitat l'obtenció de dades.

3.1.1 FUNCIONAMENT DEL RP LIDAR A1M8

El RP LIDAR A1M8 (veure fitxa tècnica¹) (SLAMTEC, 2020), es basa en el principi de la triangulació làser i utilitza una alta velocitat d'adquisició i processament de visió de

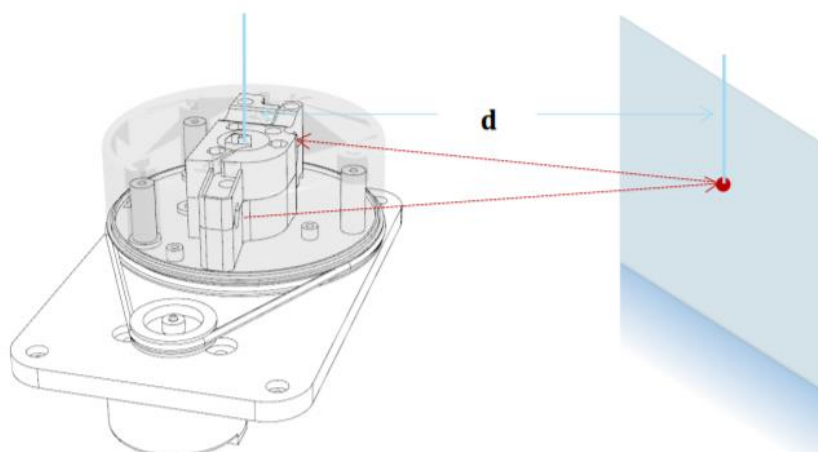


Figura 1

1

http://bucket.download.slamtec.com/7fe7e3656e811ab1a645753af40809f05fa7ddcd/LD108_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A1M8_v2.4_en.pdf

dades. El sistema mesura un màxim de 8000 dades per segon amb una alta resolució de resposta (<1% de la distància).

El RP LIDAR emet un senyal làser per infrarojos modulats i el senyal làser és llavors reflectit per l'objecte a detectar (Figura 1). La senyal de retorn es mostra mitjançant el sistema de visió al RP LIDAR i el DSP incrustat al RP LIDAR comença el processament de les dades per a mostrar l'objecte, relacionant el valor de la distància i l'angle, un donat per la resposta del làser i l'altre donat per la interfície de comunicació.

3.1.2 APLICACIONS ACTUALS

L'ús principal d'aquest instrument és per a un tipus de tècnica concreta: la localització i modelatge simultani (SLAM en anglès, "*Simultaneous localization and mapping*"). Es construeix un mapa d'un entorn, a priori desconegut, mitjançant uns sensors acoblats a un vehicle que creua l'entorn. D'aquesta manera, aquest vehicle és capaç no només de construir el mapa de l'entorn sinó que a la vegada pot determinar la seva pròpia localització.

Té varies aplicacions:

- Navegació i localització d'un robot. Per exemple: els robots intel·ligents de neteja.
- Joguina intel·ligent que localitza i esquivia els obstacles
- Creació de plànols en 2D, com per exemple d'una planta de producció.

3.1.3 ABAST

Hi ha la informació tècnica del RP LIDAR A1M8 a la fitxa tècnica. A continuació es fa un resum de les característiques més importants:

- Abast de 12 metres.
- Angle d'escaneig de 360° en un únic pla.
- Freqüència de mostreig de 2000 Hz.
- Freqüència d'escaneig (velocitat de gir del sensor) d'aproximadament 5.5 kHz (pot variar entre 1 i 10kHz).

4 PRESSUPOST

Actualment Barcelona disposa de 600 punts d'aforament de vehicles de diferents tipus: detectors de llaç, detectors actius d'infrarojos, processadors d'imatge de vídeo i detectors radar. Degut a la falta d'informació sobre els preus d'aquests sistemes, s'ha fet un estudi comparant quin és el cost d'instal·lar 100 punts de mesura els detectors de llaç i el cost d'instal·lar el sistema proposat en aquest treball. S'ha fet un pressupost per cadascuna de les opcions.

4.1 Llaç magnètic (Detector de llaç)

REF	UT	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	IMPORT	COST TOTAL
1		INSTAL·LACIÓ LLAÇ MAGNÈTIC			
1.1	ut	Subministrament Llaç magnètic BM10	100,00	108,90 €	10.890,00 €
1.2	ut	Subministrament Cablejat	100,00	348,36 €	34.836,00 €
1.3	h	Muntatge	100,00	159,00 €	15.900,00 €
TOTAL					61.626,00 €

Llaç magnètic BM10²

Cablejat: segons les especificacions (Tecnoparking, 2020), són necessaris 4 voltes de cable a un preu de 29,03€ la volta, de 6,4 metres de perímetre cada volta. A cada punt de mesura hi ha 3 carrils, per tant:

$$\frac{\text{Preu}}{\text{punt de mesura}} = 3 \text{ carrils} * \frac{4 \text{ voltes}}{\text{carril}} * \frac{29,03 \text{ €}}{\text{volta}} = \frac{348,36 \text{ €}}{\text{punt de mesura}}$$

Muntatge: per instal·lar el cablejat s'ha de fer una regata al paviment. S'ha considerat un preu de 13,82€/h, segons (Madrid, Hospital Carlos III, 2017):

$$\frac{\text{Preu}}{\text{punt de mesura}} = 3 \text{ carrils} * \frac{6,4 \text{ m}}{\text{carril}} * \frac{0,6 \text{ h}}{\text{m}} * \frac{13,82 \text{ €}}{\text{h}} = \frac{159,2 \text{ €}}{\text{punt de mesura}}$$

4.2 RPLIDAR A1M8

REF	UT	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	IMPORT	COST TOTAL
		INSTAL·LACIÓ DE RPLIDAR			
1.1	ut	Subministrament RPLIDAR A1M8	100,00	112,23 €	11.223,00 €
1.2	ut	Subministrament Suport RPLIDAR A1M8	100,00	10,00 €	1.000,00 €
1.3	h	Muntatge RPLIDAR A1M8	100,00	13,82 €	1.382,00 €
1.4	ut	Software	1,00	6.000,00 €	6.000,00 €
TOTAL					19.605,00 €

Sensor RPLIDAR A1M8³

Muntatge: s'ha considerat un preu de 13,82 €/h, i una hora de treball per a cada punt de mesura, ja que només és necessari el muntatge del sensor i la mesura dels límits dels carrils (concepte definit més endavant).

Software: S'ha considerat un preu de 20 €/h amb un total de 300 hores treballades.

² <https://tecnoparking.com/tienda/lazo-magnetico/160-lazo-magnetico-bm10-para-detectar-el-paso-de-vehiculos.html>

³ <https://www.amazon.com/RPLiDAR-A1M8-Degree-Laser-Scanner/dp/B07H7X3SFF>

4.3 Comparativa de preus

Hi ha una clara diferencia de preus en aquest projecte en particular.

SISTEMA	TOTAL
Llaç magnètic	61.626,00 €
RPLIDAR A1M8	19.605,00 €
ESTALVI	42.021,00 €

Es produeix un estalvi d'un 68,18%.

5 LLENGUATGE UTILITZAT

Per la creació del codi s'ha utilitzat el programari MATLAB, versió 9.7.0.1216025 (Setembre, 2019). És un llenguatge utilitzat en el estudis del grau d'*Enginyeria en tecnologies industrials* i per tant l'alumne està familiaritzat amb aquest entorn de programació. A més, també és un dels llenguatges utilitzats en alguns projectes en el departament de màquines i motors tèrmics de la universitat, per tant, serà una bona elecció per si en un futur es vol actualitzar o millorar el codi.

5.1 Adaptació del sensor al MATLAB

Per a poder analitzar les dades és necessari una eina que ens passi les dades obtingudes pel sensor a una plataforma on nosaltres puguem interactuar amb elles. Hi va haver dues opcions: la primera era utilitzar un executable gratuït per accedir a les dades i la segona era utilitzar un codi ja fet expressament per accedir al RP LIDAR des del propi MATLAB (ENSTABretagneRobotics, 2018), cada una d'aquestes opcions tenia les seves parts positives i les seves parts negatives. En un inici es va intentar accedir al `framme_grabber`, aquest executable gratuït que ens permet visualitzar les dades i poder-les descarregar. La part positiva d'aquesta opció és que és un programa fet per l'empresa que fabrica el sensor RPLIDAR A1M8 i per tant podem accedir als diferents modes d'escaneig dels que disposa. El problema bàsic és que no vam ser capaços d'accedir a aquest executable a través del MATLAB ni cap altra plataforma i per tant, no podríem extreure'n les dades i no ens seria d'utilitat. La segona opció que teníem era bastant atractiva, ja que ens permetia accedir al sensor d'una manera molt ràpida i senzilla, ja que només s'havia de descarregar i implementar-lo al MATLAB. Però tenia un inconvenient, era un codi fet pel model A2 del RP LIDAR, i no pel A1. Per sort, canviant una part del codi es va poder adaptar al A1, però amb una limitació força important, només es podia utilitzar un sol mode d'escaneig: el Standard, per tant només podríem agafar dades amb una freqüència de 2 kHz (Veure fitxa tècnica) (SLAMTEC, 2020).

5.2 Estructures utilitzades

S'han utilitzat una sèrie d'estructures per a poder emmagatzemar la informació. A MATLAB totes les variables són arranjaments (o *arrays*, en anglès) multidimensionals sense distingir el tipus de la dada que conté. Però aquí en farem una subdivisió per poder categoritzar les variables que utilitzem:

5.2.1 VARIABLES

Les variables s'utilitzen per emmagatzemar un únic valor que pot canviar durant l'execució del programa. Són matrius d'una dimensió amb un únic element. El nombre de vehicles o la velocitat instantània, són exemple de variables de tipus numèric i la data és un exemple de variable de tipus string.

5.2.2 MATRIUS

Les matrius són un conjunt ordenat de dades en una sola fila (1D) o bé en files i columnes (2D) que emmagatzema variables del mateix tipus. Les distàncies que hi ha entre el sensor i els límits dels carrils o bé l'estructura utilitzada per emmagatzemar les dades que rebem del RP LIDAR són un exemple d'*array* en forma de matriu. En aquest document, les matrius d'una sola fila són anomenats vectors, i quan la seva dimensió és major que 1, se les anomena matrius.

5.2.3 ESTRUCTURES

Una estructura és un *array* que permet agrupar dades mitjançant contenidors de dades anomenats camps. Cada camp pot contenir un tipus de dada diferent. La estructura on guardem la informació de cada vehicle que passa (hora, velocitat,...) és un tipus d'*array* en format estructura.

5.3 Interfície gràfica

Com es veurà més endavant s'ha creat una interfície gràfica perquè l'usuari pugui interactuar amb el programa més fàcilment. S'ha utilitzat l'entorn de programació visual GUIDE disponible a MATLAB.

GUIDE (entorn de desenvolupament de GUI) proporciona les eines per dissenyar les interfícies d'usuari per APPS personalitzades. Mitjançant un editor de disseny de GUIDE és possible dissenyar gràficament aquesta interfície. D'aquesta manera GUIDE genera el codi automàticament per a construir-la, el qual es pot modificar per programar el comportament de la APP.

6 PROGRAMA INFORMÀTIC

Com s'ha comentat en un inici, el projecte que se'ns planteja davant és la creació d'un codi que permeti el recompte de vehicles i les seves respectives velocitats, i la generació d'un resum per l'usuari. Aquest programa s'ha dividit en 4 parts:

1. Interfície
2. Obtenció de les dades
3. Anàlisi
4. Síntesi

Durant la creació del programa s'han consultat les llibreries i les sintaxis a la pàgina oficial de MATLAB (MATHWORKS).

6.1 Interfície

6.1.1.1 FUNCIONAMENT

La interfície és la part del codi que interactua amb l'usuari i s'ha creat amb la finalitat de facilitar l'ús del programa. La interfície té tres opcions:

- Analitzar d'un fitxer
- Enregistrament de la via
- Visualització d'un fitxer

A l'executar el programa s'obre una finestra on es poden seleccionar quin dels tres mètodes es vol seguir. A continuació s'explica quines són les característiques de les tres opcions:

Anàlisi d'un fitxer: es crida amb la funció `Analisi_fitxer` i s'utilitza per poder fer l'anàlisi de mostres obtingudes amb anterioritat pel sensor. Per exemple, en el cas de canviar la manera en què s'analitzen les dades (que s'explica com es realitza aquest anàlisi més endavant), es podria tornar a realitzar l'anàlisi i obtenir resultats diferents. Una vegada fet aquest anàlisi es crea un resum dels resultats obtinguts (Annex 1). En aquest resum apareix el número de vehicles, el carril per on circulen, la velocitat i la hora a la que passen. A l'annex 1, aquesta última informació no apareix degut a que no es té la informació, ja que és un registre de dades antic i no s'han pogut prendre noves dades degut al COVID-19.

Enregistrament de la via: es crida amb la funció `Enregistrar_dades` i és la que s'ha utilitza per a poder fer un enregistrament nou de la via. Al seleccionar la carpeta on es volen guardar els fitxers de les dades obtingudes i dels resultats s'obra una finestra nova on es demanen 4 variables:

- Número de carrils
- Límits dels carrils

- Temps de mostreig
- Velocitat mínima de la via

Una vegada es fa clic al botó “enregistrar” comença l’enregistrament de la via.

Quan passa el temps de mostreig, comença l’anàlisi i posteriorment es crea un fitxer amb el resum dels resultats.

Visualització d’un fitxer: es crida amb la funció Visualitza_fitxer i s'utilitza per poder visualitzar les dades enregistrades en funció del temps.

Per a crear les finestres que interactuen amb l'usuari, s'ha utilitzat la interfície gràfica de MATLAB, GUI (*Graphic User Interface*) (Figura 2).

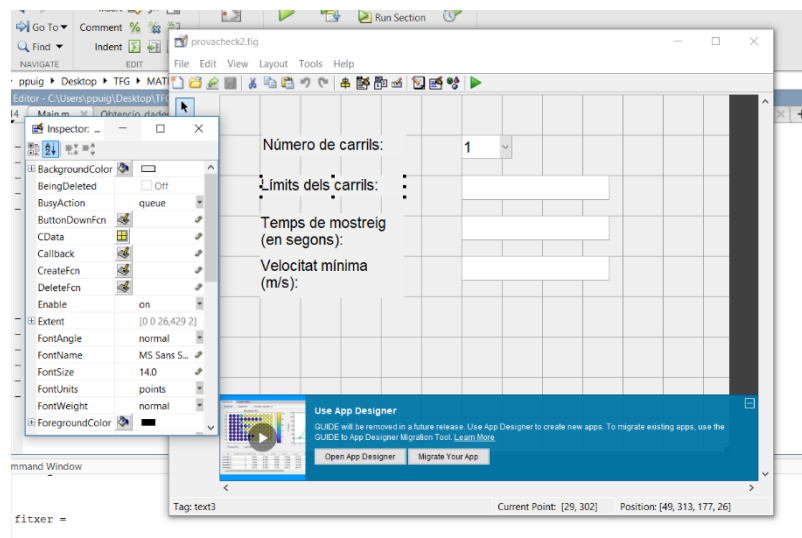


Figura 2: Edició de la interfície gràfica

6.1.1.2 SCRIPTS I FUNCIONS

Main.m

És l'script ha executar per l'usuari. Al executar-lo s'obrirà una ruta per a poder seleccionar les diferents opcions que presenta el programa.

GUI_Enregistrar.m

És l'script on s'ha creat el codi de la interfície gràfica per poder introduir les variables inicials abans d'enregistrar les dades. Una part del codi es genera automàticament, i després s'han fet alguns canvis per poder-lo ajustar a les nostres necessitats.

Analisi_fitxer(btn)

Permet seleccionar el fitxer que es vol analitzar i crea el resum d'aquest anàlisi. La funció es crida al fer clic al botó "Seleccionar Arxiu".

enregistrar_dades (btn2)

Permet seleccionar la carpeta on es desaran les dades obtingudes de l'enregistrament i el posterior resum de l'anàlisi. La funció es crida al fer clic al botó "Enregistrar dades".

Visualitza_dades (btn2)

Permet seleccionar el fitxer que conté les dades que es visualitzaran gràficament. La funció es crida al fer clic al botó "Visualitzar fitxer".

6.1.1.3 ESTRUCTURA DE DADES

Numero_carrils: és el número de carrils que es volen estudiar. Màxim de 3 carrils.

Limit_carrils: és un vector que conté els límits dels carrils. La seva dimensió és Numero_carrils+1. (metres)

Temps_mostreig: és el temps que dura l'enregistrament de les dades. (segons)

Vel_min: velocitat mínima de la via

6.2 Obtenció de les dades

En primer lloc, el que s'ha fet per poder prendre dades és crear una estructura per poder mantenir el sensor en una posició estable i que ens les permeti obtenir d'una manera correcta (Figura 3).



Figura 3

D'aquesta manera podem variar l'altura i la inclinació del pla de mostreig.

En segon lloc, s'ha de col·locar el sensor a un altura correcte per poder prendre les dades i per això s'ha pensat que la millor manera de prendre-les és posicionar el pla de mostreig més amunt de les rodes del vehicle i més avall dels vidres, d'aquesta manera el que farem serà resseguir el perfil lateral del vehicle (Figura 4).



Figura 4

Finalment, una vegada ja tenim el sensor a l'alçada correcte s'ha de col·locar a la dreta de la via seguint la direcció dels vehicles (figura 5). S'hauria de col·locar el més a prop possible de la via. A una distància inferior a un metre.

Durant la recollida de dades hi ha molta informació que no ens interessa, ja que el sensor agafa dades en totes les direccions del pla de mostreig, per tant, ja es fa una selecció inicial i no es guarden aquelles dades que no formin part de la calçada (Figura 5).

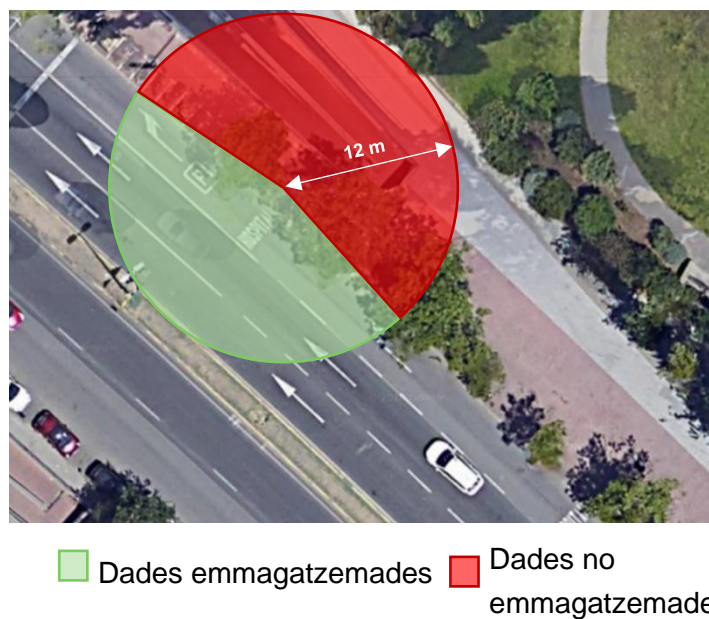


Figura 5

A continuació hi ha la nomenclatura dels carrils, amb el número 1 el que és més proper al sensor i a mesura que ens allunyem s'incrementa el número del carril (figura 6).

6.2.1.1 ESTRUCTURA DE LES MOSTRES

Ara que ja sap com s'obtenen les dades, s'estudia com són aquestes. El làser envia una senyal cap a una direcció i quan xoca amb un objecte aquesta llum rebota i retorna al sensor, que calcula el temps que passa entre l'enviament i el retorn de la senyal i d'aquesta manera pot calcular la distància entre punt i sensor. Per tant, la informació que retorna són dos valors: una distància i una direcció, és a dir, un angle. Però què passa amb els feixos de llum que topen amb objectes que estan fora de l'abast de l'RPLIDAR? Doncs que el sensor no és capaç d'analitzar aquell feix i retorna una distància de zero metres amb el seu angle corresponent.

Des del MATLAB guardem en un fitxer(.csv) les distàncies i en un altre fitxer(.csv) els angles, les files de les quals pertanyen a una volta feta pel sensor. El registre s'emmagatzema a partir de la segona fila del document, a la primera s'hi guarda el número de carrils, els límits i la velocitat mínima.

Cada element del fitxer d'angles està format per l'angle de cada feix de llum enviat pel

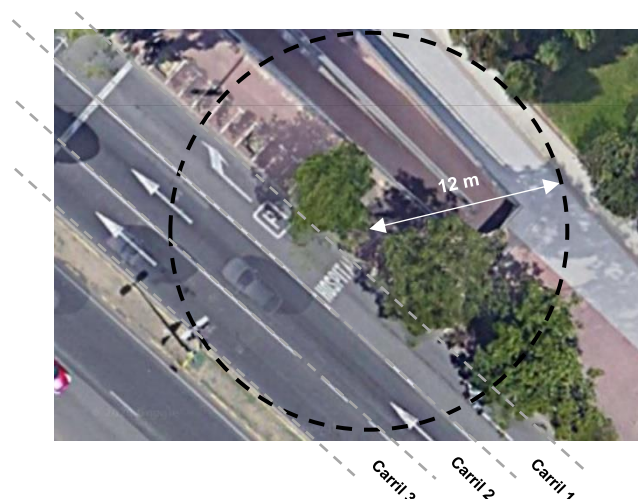


Figura 6

làser, i els elements del fitxer de distàncies estan formats per les distàncies, que són, com s'ha comentat anteriorment, diferent de zero si el feix de llum retorna al sensor, o zero si el feix no retorna mai.

Si s'analitza el fitxer d'angles veurem que no totes les files tenen la mateixa dimensió, ja que el sensor no és suficientment precís com per prendre les mostres regularment, és a dir, que la variació d'angle per a mostres successives no és constant. Tot i aquest fenomen, les dimensions dels fitxers són iguals i la posició de cada element del fitxer de distàncies està relacionant amb l'element del fitxer d'angles que es troba en la mateixa posició.

6.2.1.2 FIABILITAT

Un dels gran problemes que s'ha trobat és que les dades que arriben al MATLAB no són homogènies i presenten alguns errors en la detecció d'objectes. Aquest fenomen fa que després sigui més difícil analitzar les dades, i com es veurà més endavant ens condicionarà a la hora de fer càlculs. A continuació es presenten diferents formes que poden prendre els grups de dades (mostres) dels vehicles que obtenim del sensor i arriben al matlab. Més endavant s'explica quines són les condicions han de complir les dades per formar part de la mateixa mostra.

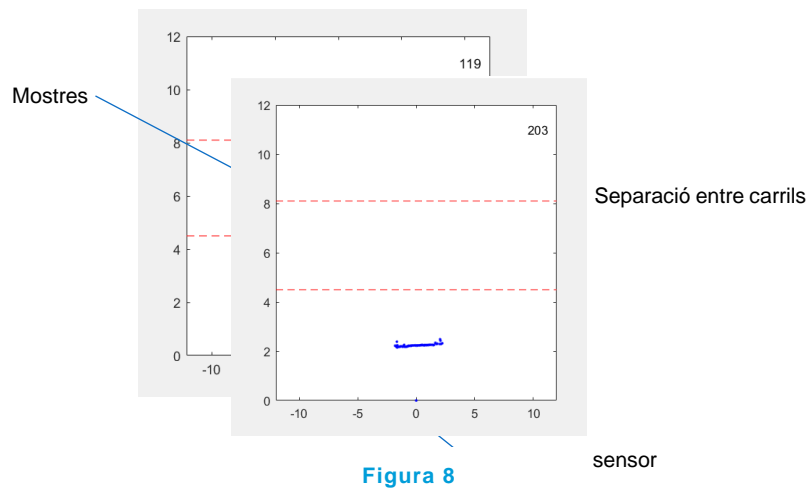


Figura 7: Visualització gràfica d'un conjunt de dades

CAS 1

Quan les mostres presenten aquesta forma, es pot distingir clarament el perfil anterior (Figura 8) o posterior del vehicle (Figura 9). D'aquesta manera es pot saber amb exactitud la posició del vehicle.

CAS 2

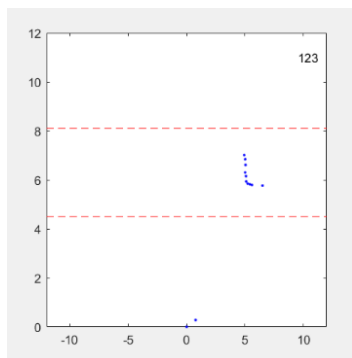


Figura 10

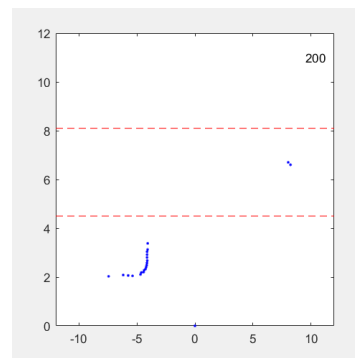


Figura 10

En aquest segon cas (Figura 10), les dades que arriben són correctes ja que són precises, acurades i es pot observar que el sensor ressegueix gairebé tot el perfil lateral del vehicle, per tant, podem saber amb molta exactitud la posició d'aquest.

CAS 3

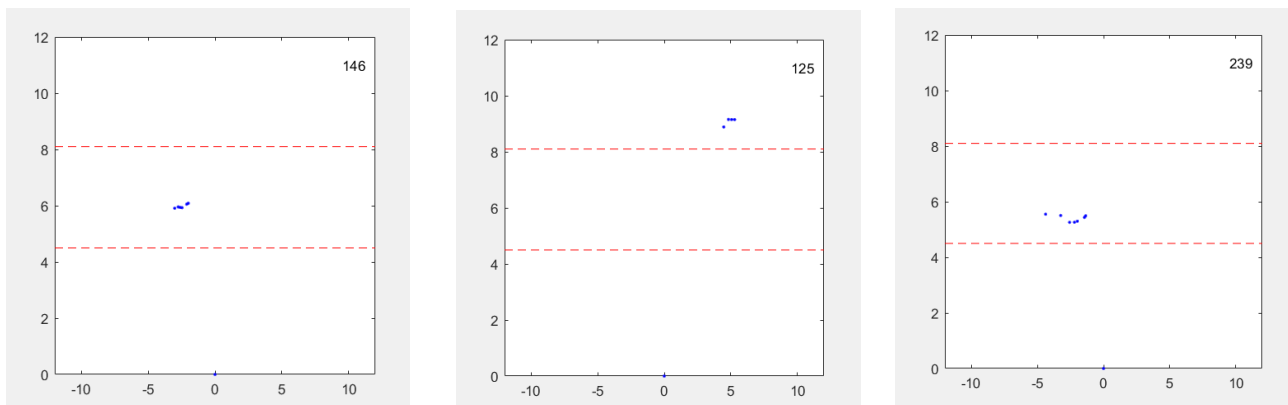


Figura 11

Finalment, en els casos en els que arriben poques dades (Figura 11) dels vehicles que detecta el sensor és difícil saber exactament la posició, ja que aquestes dades poden formar tant de la part de davantera del perfil lateral com de la part posterior.

6.2.1.3 SCRIPTS I FUNCIONS

Obtencio_dades

```
[Extensio] = Obtencio_dades(Ruta_carpeta, Temps,
Limit_carril, Numero_carrils, Vel_min)
```

Enregistra les dades i les emmagatzema en tres fitxers dins de la carpeta seleccionada a la interfície.

GetScanDataResponseRPLIDAR

```
[result, distances, angles, bNewScan, quality] =
GetScanDataResponseRPLIDAR(pRPLIDAR);
```

Aquesta funció està definida a la llibreria RPLIDAR.h i ens permet llegir els outputs del sensor, és a dir, l'angle i la distància.

6.2.1.4 ESTRUCTURES DE DADES

distances: distància que hi ha entre un punt i el sensor. Si la senyal no retorna al sensor la distància és zero.

angles: Angle entre la direcció de la senyal que envia el sensor i la referència pròpia del sensor.

onlap_distances: vector que conté les distàncies obtingudes pel sensor en una volta. Es reinicia per cada volta.

onlap_angles: vector que conté els angles obtinguts pel sensor en una volta. Es reinicia per cada volta.

Min_angle: angle límit inferior a partir del qual el programa no emmagatzema les dades. Mínim valor = -179° (graus)

Max_angle: angle límit superior a partir del qual el programa no emmagatzema les dades. Màxim valor = 179° (graus)

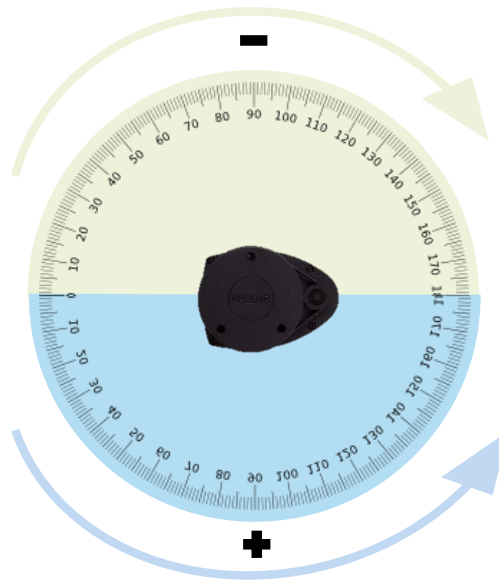


Figura 12: Coordenades angulars de programa

6.3 Anàlisi de dades

L'anàlisi de dades és el conjunt de processos que ens permet obtenir una resposta a partir d'unes variables d'entrada. En el nostre cas, les variables d'entrada són les dades obtingudes de l'enregistrament juntament amb les especificacions que entra l'usuari i la resposta és el recompte de vehicles amb les seves respectives velocitats.

Es divideix l'anàlisi en 3 parts:

1. Eliminació de soroll
2. Organització
3. Interpretació

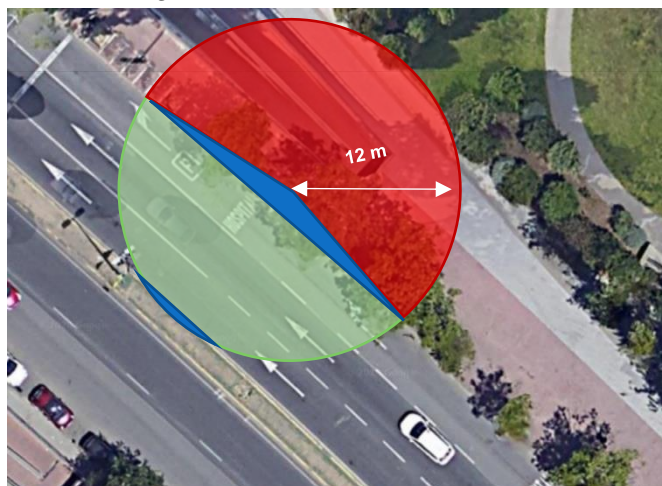
6.3.1 ELIMINACIÓ DE SOROLL

6.3.1.1 FUNCIONAMENT

S'estructuraran les dades en dues matrius MD i MA, que es creen directament amb la funció `csvread(nom del fitxer.csv)` del MATLAB, les dimensions de les quals són les voltes que ha donat el sensor +1, ja que en la primera fila de la matriu es guarden les variables del nombre de carrils, els límits i la velocitat mínima de la via, pel nombre màxim de dades preses en una volta, ja que com s'ha explicat anteriorment no en totes les voltes s'han pres el mateix nombre de dades,. Tots els espais buits que hi havia en el fitxer, s'ompliran amb zeros a la matriu.

A partir de les matrius es comencen a aplicar els filtres.

1. Substitució per zero de les distàncies que no s'han pogut filtrar en la obtenció de dades, ja que només filtràvem per angle i no distància (Figura 13). S'eliminen les dades que queden fora de la via i aquelles que queden fora del abast del sensor, és a dir, que són més grans de 12 metres.






- | | | |
|--|---|---|
|  Dades emmagatzemades |  Dades no emmagatzemades |  Dades eliminades |
|--|---|---|

Figura 13

2. Substitució per zero de les distàncies que estan aïllades. S'entén per aïllades les dades que compleixen alguna de les següents condicions:
 - Les 10 mostres anteriors i posteriors a la d'estudi són zero
 - En una mateixa volta no hi ha més de 2 distàncies diferents de zero.

6.3.1.2 SCRIPTS I FUNCIONS

Analisi_dades.m

Analitza les dades enregistrades del fitxer de dades que passa l'usuari. A partir del fitxer conté les dades enregistrades, es fa l'anàlisi del vehicles detectats. Primerament es fa un filtre per eliminar el soroll, una posterior organització per poder-les analitzar més

fàcilment, i finalment s'aplica l'algorisme per a poder fer el recompte de vehicles i emmagatzemar la seva informació.

6.3.1.3 ESTRUCTURA DE DADES

MD: matriu de distàncies llegides del fitxer de distàncies. Cada fila correspon a les dades preses per volta del sensor.

MA: matriu d'angles llegides del fitxer d'angles. Cada fila correspon a les dades preses per volta del sensor.

MD_netes: matriu de distàncies sense soroll.

MA_nets: matriu d'angles sense soroll.

6.3.2 ORGANITZACIÓ

6.3.2.1 FUNCIONAMENT

Tenint en compte que les dades que s'agafen segueixen una línia recta, el primer que es fa per organitzar les dades és fer un canvi de coordenades. Passarem de coordenades polars a cartesianes, sent l'eix de les X la direcció dels vehicles i l'eix Y la distància perpendicular entre mostra i sensor (Figura 14).

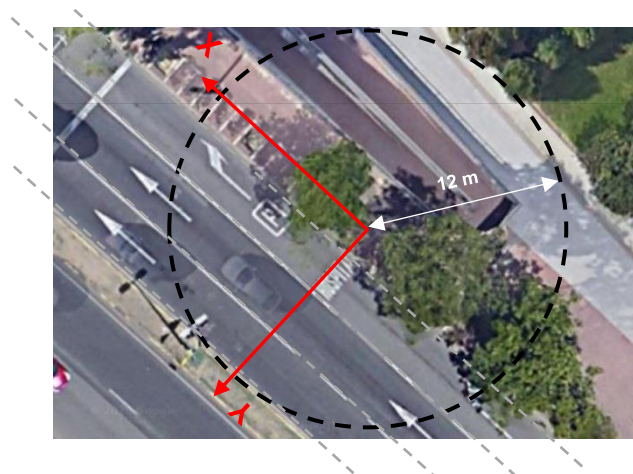


Figura 14

En un primer moment es va intentar analitzar les dades una per una, però al veure que era una feina massa complexa i que no en podríem treure bons resultats es va decidir agrupar les dades en el que haurien de ser mostres d'un sol vehicle. D'aquesta manera, com s'ha comentat anteriorment, enlloc de treballar amb dades separades es treballaria amb grups de dades que formarien un vehicle, les mostres.

S'han posat les següents condicions per decidir quan dues dades consecutives no són de la mateixa mostra:

- La distància en l'eix X és superior a 4 metres

- Es troben en carrils diferents i a una distància Y superior a 30 cm.

En aquesta mateixa organització s'ha creat un filtre addicional, eliminant tots aquells grups de dades que no continguessin com a mínim 3 dades.

En un principi es va intentar treballar amb les matrius, però era complicat operar amb elles, ja que és necessari que siguin de la mateixa dimensió. Per això es va reorganitzar l'estructura on s'emmagatzemaven les dades i es va passar d'utilitzar matrius a utilitzar un *array* anomenat *struct*.

Com ja s'ha comentat anteriorment, un *struct* és un *array* que permet agrupar dades en camps. En aquest cas els camps estan formats per les voltes que contenen mostres

volta87	volta88	volta89	volta90	volta91	volta92	volta103	volta104
1x23 double	1x23 double	1x16 double	1x13 double	[6.6330,6.6...	[9.6355,9.7...	[-4.9677,-4....	1x15 double
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Figura 15

('volta23','volta24','volta27',...) i el vector que acompanya al camp, relacionat amb una volta, està format per un o varis vectors, cada un dels quals conté un grup de dades que formen una mostra (Figura 15).

6.3.2.2 SCRIPTS I FUNCIONS

Analisi_dades.m

Analitza les dades enregistrades del fitxer de dades que passa l'usuari. A partir del fitxer conté les dades enregistrades, es fa l'anàlisi del vehicles detectats. Primerament es fa un filtre per eliminar el soroll, una posterior organització per poder-les analitzar més fàcilment, i finalment s'aplica l'algoritme per a poder fer el recompte de vehicles i emmagatzemar la seva informació.

matrixtostructure

```
[sX,sY] = matrixtostructure(MatriuX,MatriuY)
```

És una funció que passa de les dades organitzades en una matriu i separades per mostres, amb el separador = 99, i retorna un *struct* amb els camps amb el nom de la volta i cada element del vector que acompanya al camp és un subvector amb les coordenades de la mostra.

6.3.2.3 ESTRUCTURA DE DADES

Xbrut: matriu amb les coordenades X de les dades.

Ybrut: matriu amb les coordenades Y de les dades.

Xnet: matriu amb les dades de Xbrut agrupades en mostres. Als primers elements de la matriu hi ha les dades diferents de zero agrupades, on cada mostra està separada pel número “99”. Cada fila correspon a una volta donada pel sensor (Figura 16).

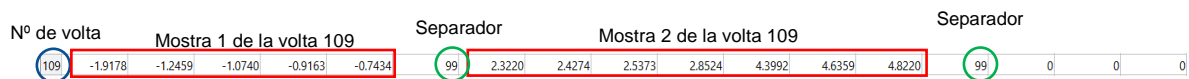


Figura 16

Ynet: idem de Xnet, però amb les dades de Ybrut.

sX: struct que conté les voltes amb les seves corresponents mostres (Figura 17, la volta 92 té dues mostres i la resta només 1). Els camps són el número de volta, i cada element

volta87	volta90	volta91	volta92	volta93	volta94	volta95
[5.8137,6.3...	[-1.6137,-0....	[0.9568,1.3...	[-6.8060,-6....	1x11 double	1x20 double	1x28 double
[]	[]	[]	[2.7992,3.5...	[]	[]	[]

Figura 17

del vector conté un subvector amb les coordenades X de cada mostra $m(x_1, x_2, x_3, \dots)$. La dimensió del vector que acompanya el camp és igual al número de mostres que el sensor ha agafat per volta.

sY: Idem de sX, però amb les dades de Ynet

Vector_voltes_plenes = vector que conté els números de les voltes amb mostres.

6.3.3 INTERPRETACIÓ

6.3.3.1 FUNCIONAMENT

Una vegada es tenen les dades estructurades és quan es poden començar a analitzar. Conceptualment parlant, els passos a seguir per comptar vehicles i saber la seva velocitat és senzill. Arriba una mostra nova i es compara amb les anteriors, si veiem que es tracta d'un vehicle nou afegim un vehicle a la llista, sinó doncs actualitzem la posició i velocitat del vehicle.

Ara bé, per poder comparar vehicles entre si i decidir si es tracta del mateix vehicle o no, és necessari saber quines són les variables que s'utilitzen i així poder-les comparar. Les dues variables que s'utilitzen per comparar vehicles són dues: el punt mig i la velocitat mínima de la via.

Per a calcular el punt mig del vehicle, és a dir, la seva posició, s'ha fet de dues maneres en funció del tipus de mostra que s'analitza. Com s'ha vist anteriorment, en funció de com arriben les dades es pot saber amb més o menys exactitud la posició del vehicle.

Quan es pot distingir clarament la part anterior o posterior del vehicle (cas 1, Figura 8 i 9) s'ha suposat que es tracta d'un turisme i que la seva longitud és de 4 metres i per tant, podem trobar el punt mig del vehicle a dos metres respecte el perfil anterior o posterior del vehicle (Figura 18).

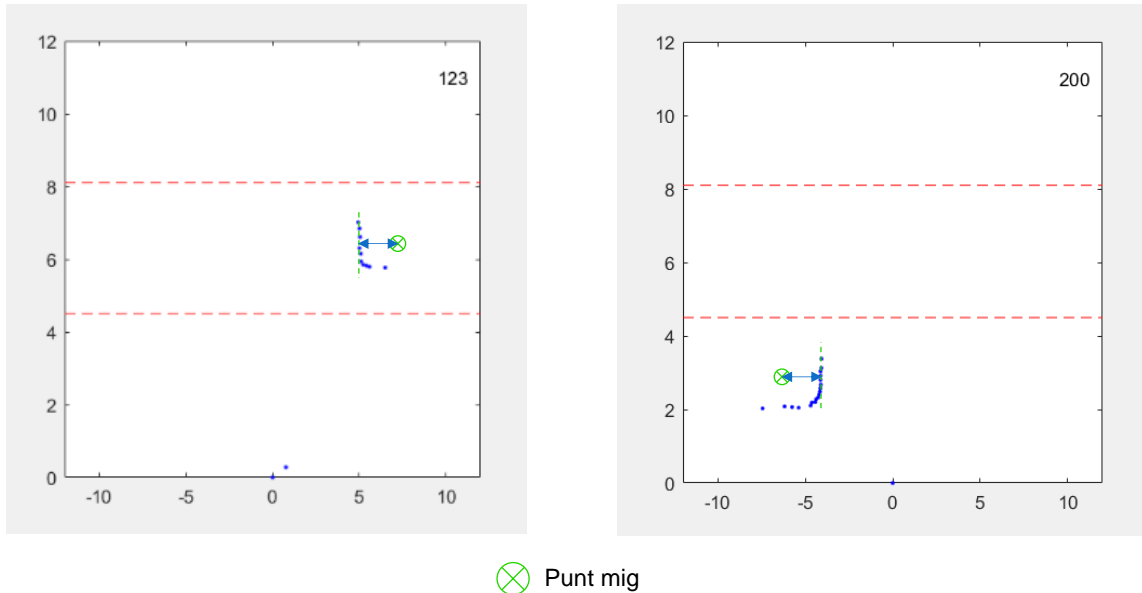


Figura 18

També ens podem trobar amb els altres dos casos, en els que només es tenen dades del perfil lateral del vehicle. En aquesta situació, s'ha suposat que el punt mig es troba a la meitat entre el màxim i el mínim de les coordenades X de la mostra (Figura 19).

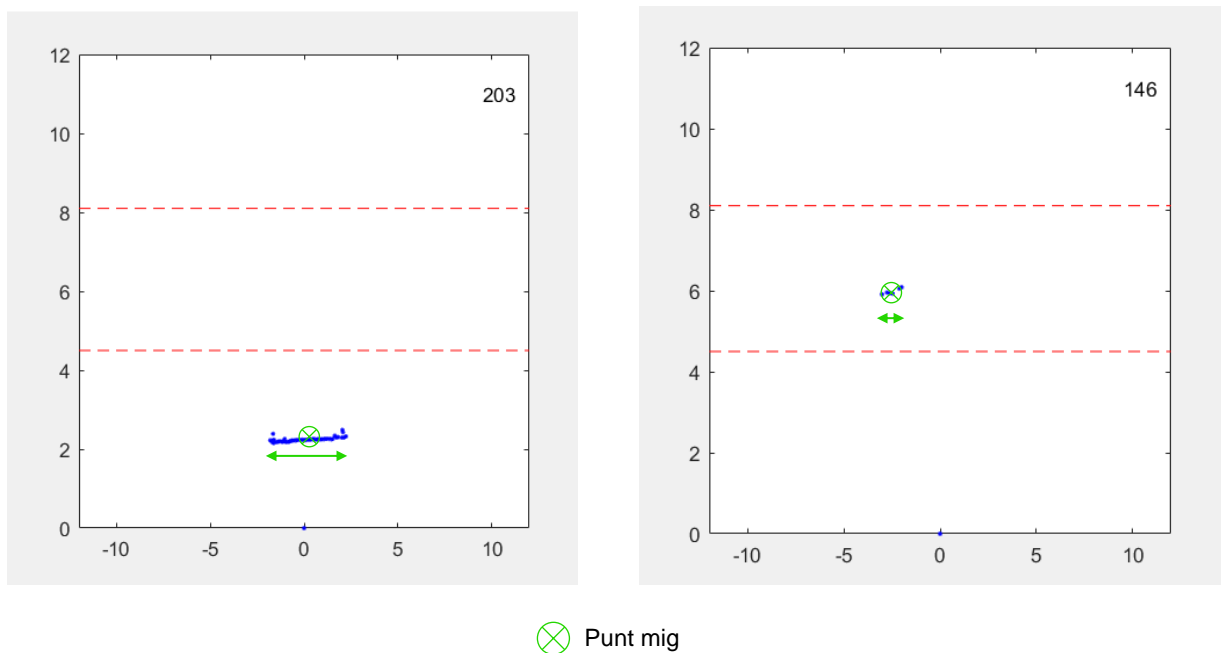


Figura 19

En tots dos casos només es té en compte la coordenada X del punt mig, ja que en un inici es tenien en compte les dues coordenades, però es va veure que per comparar els vehicles només ens feia falta la coordenada X i posteriorment ja s'analitzaria si fes falta la coordenada Y. En el càlcul del punt mig no es discrimina pel tipus de vehicle, se suposa que tots els vehicles són turismes degut a la no homogeneïtat entre les mostres.

La segona variable que utilitzem és la velocitat mínima de la via, que és una constant que introduïm a l'inici del programa. En un principi es va intentar utilitzar la velocitat instantània del vehicle, el problema que es va veure és que al haver-hi poca precisió en el càlcul de la posició del vehicle, el càlcul de la velocitat també seria aproximat ja que es calculava de la següent manera:

$$Velocitat_{v,x} = \frac{punt_mig_{v,x} - punt_mig_{v,x-1}}{(volta_{v,x} - volta_{v,x-1})} * 5,5$$

Interpretació dels subíndex⁴

En la fórmula de la velocitat=espai/temps, si aquest espai es calcula com la diferència entre la posició de dues mostres que són poc precises en un espai de temps curt, el càlcul de la velocitat serà també poc precís. Ara bé, podríem calcular la velocitat mitjana amb la posició inicial i final del vehicle i el temps que ha passat entre elles d'una manera més precisa, ja que com que la diferència entre la última posició i la primera és més elevada en termes absolut i el temps que passa entre les dues mostres es calcula correctament, la velocitat mitjana calculada serà més precisa. El que es fa doncs, és obtenir informació més precisa amb el càlcul de la velocitat mitjana, però perdent la informació de les velocitats instantànies.

A continuació la fórmula de com calcular la velocitat mitjana:

$$Velocitat_mitjana_v = \frac{punt_mig_{v,x} - punt_mig_{v,1}}{(volta_{v,x} - volta_{v,1})} * 5,5$$

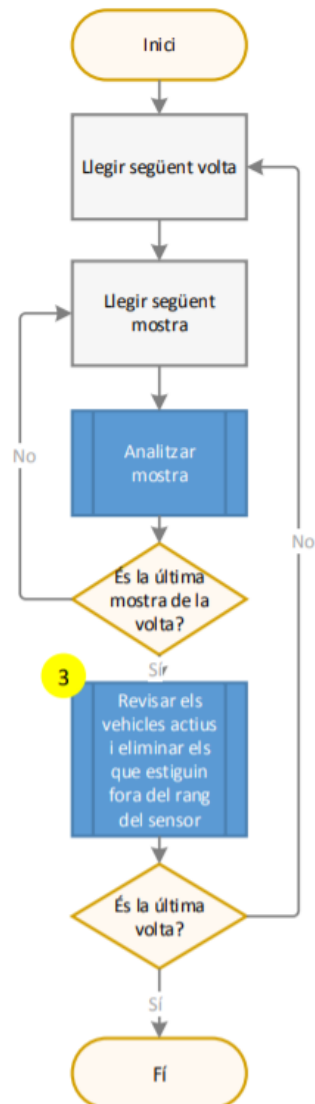
Aquest càlcul de la velocitat mitjana de cada vehicle es fa després d'haver rebut la última mostra del vehicle, per tant, no es pot utilitzar durant l'algoritme de recompte de vehicles, per això s'utilitzarà la velocitat mínima de la via.

Ara que ja sabem les dues variables que es fan servir per comparar les mostres (punt mig i velocitat mínima), anem a veure quin és l'algoritme que seguirem per analitzar les mostres:

⁴ Les variables amb el subíndex m estaran relacionades a informació d'una mostra, mentre que el subíndex v,y faràn referència a la informació de la mostra y del vehicle v, que conté x mostres.

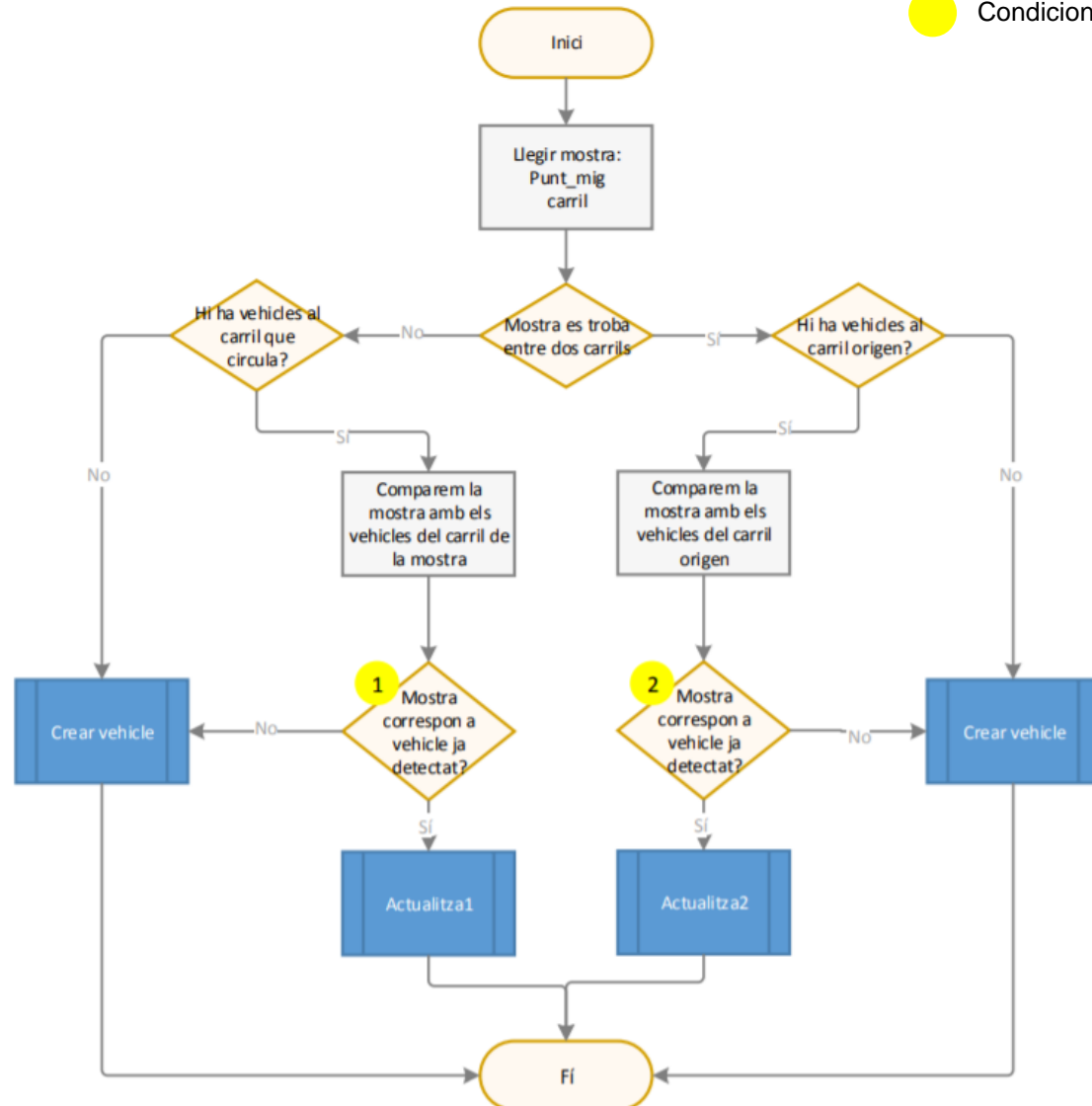
Diagrama

Llegir fitxer de dades



Analitzar mostra

● Condicions



A continuació s'expliquen les condicions que pot complir la mostra m i que responen a les preguntes del diagrama:

Condicció 1

-

$$Vehicles_en_carril(carril_actual_m) > 0$$

-

$$Punt_mig_m > punt_mig_{v,x} + Vel_{min} * \frac{volta_m - volta_{v,x}}{5,5} - 6; v \in Vehicles_actius$$

-

$$volta_m = volta_{v,x}; v \in Vehicles_actius$$

Quan es compleix aquesta condició s'actualitza la posició del vehicle, cridant la funció actualitza1.

Condicció 2

-

$$Vehicles_en_carril(carril_actual_v) > 0; v \in Vehicles_actius$$

-

$$Mitjana(Y_m) > Limit_carril_k - 0,1; k = 2,3$$

-

$$Mitjana(Y_m) < Limit_carril_k + 0,1; k = 2,3$$

-

$$Punt_{mig_m} > punt_{mig_{v,x}} + Vel_{min} * \frac{volta_m - volta_{v,x}}{5,5} - 6;$$

$$v \in Vehicles_actius$$

-

$$volta_m = volta_{v,x}; v \in Vehicles_actius$$

Quan es compleix aquesta condició s'actualitza la posició del vehicle i el carril per on circula el vehicle, cridant la funció actualitza2.

Cada condició es pot complir a la vegada per vehicles actius diferents, en aquest cas, es crida la funció pel vehicle que s'ha creat primer.

Quan no es donen les condicions per a que es cridin les funcions acabades de comentar, es cridarà la funció crearvehicle, ja que significarà que la mostra m d'estudi no formava part dels vehicles que estaven circulant per la via i per tant, és la primera mostra d'un vehicle que acaba d'aparèixer.

Condicció 3

Com es pot veure en el diagrama, després d'analitzar cada volta s'eliminen de la zona d'estudi, i per tant, de Vehicles_actius aquells vehicles que compleixen la següent condició:

•

$$Punt_{mig_m} + Vel_{min} * \frac{volta_m - volta_{v,x}}{5,5} > 12$$

Si aquesta condició és certa s'eliminarà de la variable Vehicles_actius el vehicle que compleix la condició i s'actualitzarà l'element de la variable Vehicles_en_carril que correspon al carril del vehicle eliminat.

Aquesta última condició és molt important, ja que elimina de la zona d'estudi aquells vehicles que ja no hi són. Si s'analitza la part de l'esquerra de l'equació s'observa que té dues parts: la primera és la posició del vehicle i la segona és la distància que ha recorregut el vehicle entre la volta que s'està analitzant i la última mostra que ha actualitzat el vehicle. Però aquesta distància es calcula amb la velocitat mínima, que és constant, això significa que no podem considerar que els vehicles es paren. Això es fa d'aquesta manera ja que com s'ha vist, les velocitats que es calculen d'un sol vehicle varien moltíssim:

Per exemple, les velocitats d'un vehicle quan està parat:

-0.2951	0.4221	-3.9930	-0.8407	4.3000	-3.4643	-0.8401	4.8719
---------	--------	---------	---------	--------	---------	---------	--------

Figura 20

I les següents les d'un vehicle en moviment:

-0.2109	10.6845	12.8037	7.6265	8.4639	10.0741	9.4737	9.1305	7.8324	-5.7328
---------	---------	---------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	---------

Figura 21

Això provoca que si es canviés la condició 3 i es tingués en compte la velocitat del vehicle enlloc de la velocitat mínima provocaria que s'eliminessin vehicles de la zona d'estudi quan aquests encara hi són i per tant el recompte de vehicles seria molt elevat. D'aquesta manera el recompte de vehicles és més precís però limita el nostre projecte a la impossibilitat de que els vehicles es puguin aturar.

Quan s'han recorregut totes les mostres de totes les voltes, el programa deixa d'analitzar i s'acaba la fase d'anàlisi. Tenim els resultats desitjats: el recompte dels vehicles i les seves respectives velocitats.

6.3.3.2 SCRIPTS I FUNCIONS

Analisi_dades.m

Analitza les dades enregistrades del fitxer de dades que passa l'usuari. A partir del fitxer conté les dades enregistrades, es fa l'anàlisi del vehicles detectats. Primerament es fa un filtre per eliminar el soroll, una posterior organització per poder-les analitzar més fàcilment, i finalment s'aplica l'algoritme per a poder fer el recompte de vehicles i emmagatzemar la seva informació.

Crearvehicle

```
[sVehicles] = crearvehicle (sVehicles, sX, sY, volta, mostra, carril, N_vehicle, punt_mig, Vel_min)
```

Funció que afegeix un camp nou a l'estruct sVehicles amb el nom de Vehicle + string(N_vehicle) i afegeix la informació al contenidor de dades que l'acompanya. Aquesta informació és la següent: volta inicial, punt_mig, les coordenades X del vehicle, velocitat i el carril. En la creació del vehicle, s'imposa que la velocitat del vehicle es la velocitat mínima.

actualitza1

```
[sVehicles] = actualitza1 (sVehicles, sX, volta, dada, n, punt_mig, velocitat)
```

Actualitza la informació dels vehicles, tal com la velocitat instantània, el punt mig, la volta actual i les coordenades X del vehicle. S'utilitza quan el vehicle no canvia de carril.

actualitza2

```
[sVehicles] = actualitza2 (sVehicles, sX, carril_actual, volta, dada, n, punt_mig, velocitat)
```

Actualitza la informació dels vehicles que estan canviant de carril. Fa la mateixa funció que la funció actualitza1, però canviant el número de carril del vehicle (posició 8), ja que ha canviat.

puntmig

```
[punt_mig] = puntmig (sX, sY, volta, dada)
```

Calcula el punt mig de la mostra (m).

trobacarril

```
[carril_actual] = trobacarril (sX, sY, volta, dada, Limit_carril)
```

Troba per quin carril està circulant la mostra. Pot ser que la mostra contingui dades que pertanyin a carrils diferents, tot i així se li assignarà un carril.

6.3.3.3 ESTRUCTURA DE DADES

sVehicles (Figura 22): struct que conté a cada camp els vehicles que passen per davant del sensor. Cada posició del vector que acompanya al camp, correspon a la següent informació del vehicle:

- (1) '50' si el vehicle es troba a la zona d'estudi (vehicle actiu) o '51' si ja no hi és (vehicle no actiu).
- (2) punt mig de la primera mostra del vehicle (m)
- (3) punt mig (m)
- (4) coordenades X de la última mostra que ha actualitzat la posició del vehicle
- (5) llista de velocitats instantànies (m/s)
- (6) volta en la que s'ha creat el vehicle
- (7) última_volta_mostra: volta de la última mostra que ha actualitzat la posició del vehicle
- (8) carril
- (9) carril de la primera mostra que agafa el vehicle







 Cotxe11	 Cotxe12	 Cotxe13	 Cotxe14	 Cotxe15	 Cotxe16
50	50	50	51	50	51
-3.1809	5.6964	-1.2377	8.8933	-0.7284	-1.6291
7.8740	8.5119	8.4932	8.5248	7.4253	0.2759
[7.6563,7.7...	8.5119	[8.3665,8.6...	[6.5248,8.2...	[7.5145,7.3...	[0.0327,0.1...
<i>1x18 double</i>	[5.5556,7.0...	<i>1x14 double</i>	[5.5556,-2....	[5.5556,48....	[5.5556,16....
180	183	193	206	207	209
197	187	206	207	208	213
2	3	3	3	3	3

Figura 22

Vehicles_en_carril: vector de dimensió 3, on cada element correspon al nombre de vehicles actius circulant per cada carril. El primer element correspon al carril més proper al sensor.

Vehicles_actius: Vector que conté el número dels vehicles actius.

N_vehicle: variable que ens serveix per enumerar els vehicles actius que apareixen.

punt_mig: posició del vehicle (m)

velocitat: velocitat instantània del vehicle (m/s)

carril_actual: carril en el que es troba la mostra que s'està analitzant.

Vel_min: velocitat mínima del carril (m/s)

volta: variable iterativa que recorre Vector_voltes_plenes

mostra: variable iterativa de les mostres de cada volta

n: variable iterativa que recorre Vehicles_actius en ordre invers.

carril: variable iterativa del nombre de carrils.

p: variable iterativa que recorre Vehicles_actius

7 RESULTATS

A continuació s'analitzarà els resultats obtinguts a partir de la recollida de dades guardades en un fitxer.csv. Degut a la situació provocada pel COVID-19 no s'han pogut prendre dades controlant variables tals com la densitat de tràfic o la velocitat de la via i només es tenen les dades de la recollida que es va fer a l'inici del projecte per poder fer proves durant la creació del codi.

En un principi es van recollir varies mostres en dies diferents del mes de gener i febrer, fent el recompte manualment amb un comptador dels vehicles que passaven per cada mostra. Les mostres les podríem separar en dos grups diferents: les mostres en què els vehicles estan aturats en algun moment i les mostres que en cap moment hi ha vehicles aturats ni a baixa velocitat (velocitat > 10 km/h).

Totes les dades recollides en aquest projecte s'han pres des del mateix punt (Figura 23), on la via presenta les següents característiques:

- Via de 3 carrils d'un sol sentit i en el mateix sentit de gir que el sensor
- Carrils d'una amplada de 3,5 metres

- Velocitat màxima de la via de 50 km/h

Línia de
detenció del
semàfor



Figura 23

Al estar al costat d'un semàfor es podien prendre dades dels vehicles en moviment, aturant-se o reprenent la marxa. Quan els vehicles estaven en moviment i la seva velocitat no depenia de les circumstàncies d'altres vehicles, és a dir, que el tràfic era fluid, la velocitat dels vehicles oscil·lava entre els 30 km/h i els 80 km/h. Aquestes dades, s'han pres a ull, ja que es tenia la idea de fer proves a velocitats controlades, però no s'ha pogut fer.

S'analitzen dues variables per poder-les comparar amb el recompte de vehicles del codi. Aquests dues variables són: el recompte de vehicles manual que es va fer durant la recollida de dades i el recompte de vehicles per visualització de les dades en pantalla.

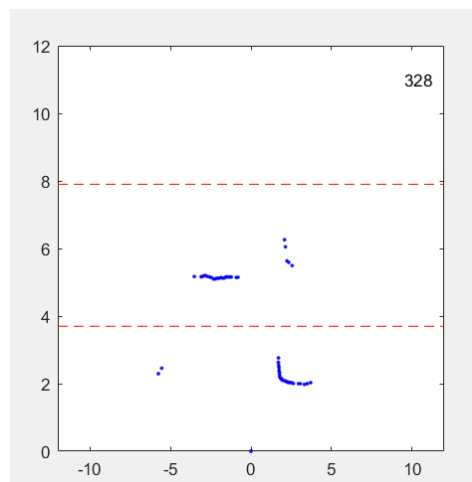


Figura 24

Per aquesta segona, s'han visualitzat en un gràfic (Figura 24) les dades que rebia el sensor en funció del temps i es feia un recompte visual, calculant els vehicles que passaven per cada carril 3 vegades, i fent la mitjana.

7.1 Verificació dels resultats

Degut a que no s'han pogut realitzar proves per a verificar els resultats, s'ha buscat una manera de crear dos experiments amb la informació que tenim. S'analitzen dos factors de cada experiment: el recompte de vehicles manual fet amb un comptador durant la recollida de dades i el recompte de vehicles fet a partir de la visualització de les dades en pantalla, aquestes dues variables es comparen amb el recompte de vehicles que fa el codi.

En cap dels dos experiments s'analitzarà la velocitat de les dades, ja que no hi ha cap manera de poder validar els resultats.

A l'annex 2 hi ha la taula que relaciona cada mostra amb l'extensió dels fitxers que corresponen a la mostra.

7.1.1 EXPERIMENT 1

En aquest experiment s'analitzen els fitxers on no hi ha vehicles que s'aturin, que reprenguin la marxa o que es mantinguin parats. Es disposa dels fitxers de distàncies i angles, no de temps, ja que en el moment de prendre les dades encara no s'havia configurat el programa per a que crees el fitxer.

Taula comparativa (Taula 1) entre el recompte del codi i el recollit manualment durant la recollida:

MOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	Total
Recompte manual	12	16	29	5	19	20	24	125
Recompte per codi	12	15	28	5	18	19	22	119
Diferència	0	1	1	0	1	1	2	6

Tabla 1

Taula comparativa (Taula 2) per carrils entre el recompte del codi i el recompte per visualització de dades:

MOSTRA	Mostra 1			Mostra 2			Mostra 3			Mostra 4			Mostra 5			Mostra 6			Mostra 7			Total per carril			Total
Carril	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Recompte per visualització de dades	0	7	5	0	10	6	4	16	9	2	3	0	1	13	5	0	11	8	1	15	7	8	75	40	123
Recompte per codi	0	7	5	0	9	6	4	16	8	2	3	0	1	13	4	0	11	8	1	15	6	8	74	37	119
Diferència per carril	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	
Diferència per mostra	0			1			1			0			1			0			1			4			5

Tabla 2

Es pot observar que la diferència entre el recompte manual i per codi és semblant, hi ha una diferència de 6 vehicles i que s'ha comptat un 95% dels vehicles. Un dels motius que pot explicar aquest fet és que els vehicles que passen pel carril més proper al sensor

(carril 1) no deixen al sensor detectar els vehicles que passen pels carrils més llunyans. Si s'analitza la segona taula s'observa que a mesura que ens allunyem del sensor cada vegada el recompte de vehicles és més complicat de fer amb precisió, ja que la quantitat de dades que rep el sensor dels vehicles més llunyans és inferior a la quantitat de dades que rep el sensor dels vehicles més propers. Aquí podem trobar un segon motiu pel qual el codi compta menys vehicles dels que circulen realment: el filtre durant l'organització

MOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	Total
Recompte manual	12	16	29	5	19	20	24	125
Recompte per visualització de dades	12	16	29	5	19	19	23	123
Diferència	0	0	0	0	0	1	1	2

Tabla 3

de les dades fa que també perdem informació. Si comparem els vehicles reals que es compten a cada mostra amb els que es compten visualitzant les dades s'observa el següent (Taula 3):

Dels vehicles que observa el sensor, el codi en compta un 96%, però del total que passen un 95%. En el total dels vehicles comptats, el codi no compta 6 vehicles que passen per davant del sensor, 2 dels quals no els detecta, ja que hi ha altres vehicles que no permeten la seva obtenció de dades.

7.1.2 EXPERIMENT 2

En aquest experiment s'analitzen els fitxers on hi ha vehicles que s'aturen, es disposa dels fitxers de distàncies i angles, no de temps, ja que en el moment de prendre les dades encara no s'havia configurat el programa per a que crees el fitxer.

Podríem separar la presa de dades en 3 períodes:

Període 1: va des de l'inici de la recollida de dades fins a l'aturada completa d'un vehicle a la zona d'estudi. Dura 10 segons (S'ha retallat la part inicial del fitxer per tal de que entre l'inici de l'anàlisi i l'aturada del primer vehicle passin 10 segons).

Període 2: va des de la finalització del període 1 fins a l'arrencada d'un dels vehicles aturats.

Període 3: va des de la finalització del període 2 fins el final del fitxer. Aquest període és el d'arrencada i dura 10 segons.

Taula comparativa (Taula 4) entre el recompte del codi i el recollit manualment durant la recollida:

MOSTRA	1	2	3	4	5	Total
Recompte manual	15	17	13	10	15	70
Recompte per codi	46	35	15	12	31	139
Diferència	31	18	2	2	16	69

Tabla 4

Com es pot veure el recompte que es fa amb l'ordinador duplica als vehicles que passen realment. Es veu, com s'ha comentat anteriorment en el treball que en la situació en què tenim vehicles aturats el recompte no seria bo.

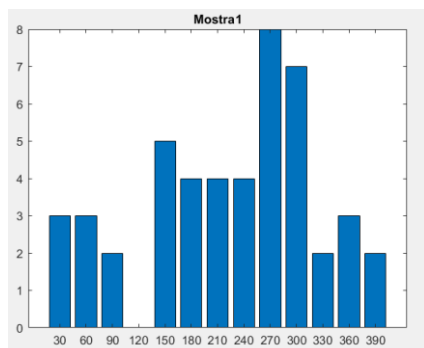
Tot i això, es compara el recompte per visualització en pantalla i el recompte amb el codi:

MOSTRA	Mostra 1			Mostra 2			Mostra 3			Mostra 4			Mostra 5			Total per carril			Total
Carril	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Recompte per visualització de dades	3	6	4	5	5	1	1	5	5	0	5	3	4	4	1	13	25	14	52
Recompte per codi	5	27	14	10	20	5	2	12	6	0	8	4	1	20	10	18	87	39	144
Diferència per carril	2	21	10	5	15	4	1	7	1	0	3	1	3	16	9	11	62	25	
Diferència per mostra	33			24			9			4			22			92			92

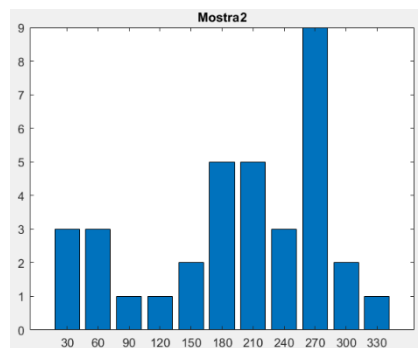
Tabla 5

S'observa que en cap dels 3 carrils les dades són bones, en el primer carril es compta un 38 % més vehicles del que capta el sensor, en el segon un 248% més i en el tercer un 178% més.

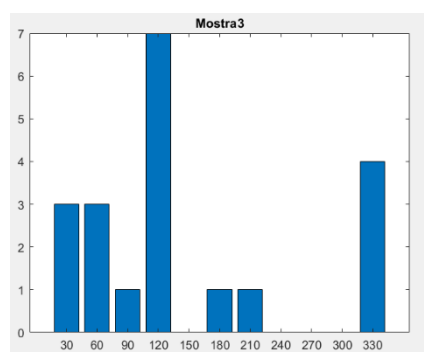
En el següents gràfics s'observa la creació de vehicles en funció del temps. Cada columna representa el número de vehicles creats cada 5 segons, per tant, les dues primeres columnes formen part del primer període (els vehicles es comencen a aturar) i les 2 últimes de l'últim període (els vehicles reinicien la marxa).



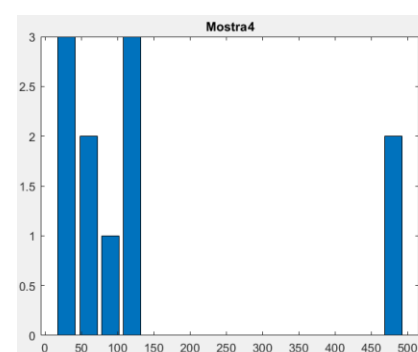
Gràfic 1



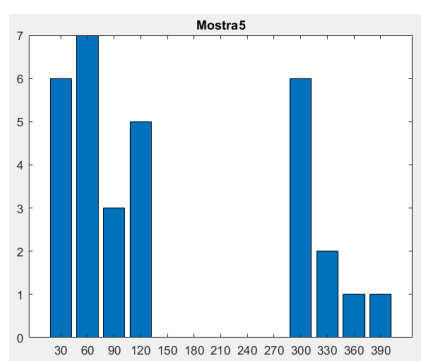
Gràfic 2



Gràfic 3



Gràfic 4



Gràfic 1

Es veu una clara diferència entre les mostres 1 i 2 (Gràfic 1 i 2, respectivament)), i les mostres 3,4 i 5 (Gràfic 3, 4 i 5, respectivament). S'observa com en el període 2 en què alguns vehicles arriben i s'aturen, les mostres 3, 4 i 5 no creen vehicles nous, això és degut a que durant aquest període no passen vehicles pel carril 1. En canvi, en les mostres 1 i 2, es creen molts vehicles en el període 2, ja que segueixen circulant vehicles

pel carril 1 i els vehicles dels altres carrils enlloc d'actualitzar-se amb les mostres que arriben del sensor desapareixen i el programa torna a crear vehicles nous.

Podríem concloure doncs, que si un vehicle està sent identificat pel programa però es deixa de veure durant uns instants, enlloc d'actualitzar-se se'n crea un de nou.

Aquest fet es pot donar en dues ocasions, quan hi ha vehicles aturats o quan les velocitats dels vehicles de diferents carrils és molt diferent.

8 IMPACTE AMBIENTAL

Actualment, i vista la situació climàtica actual que està vivint el planeta, és important realitzar un estudi que permeti saber l'impacte que tindria el desenvolupament d'un projecte en el planeta.

Com s'ha comentat en un inici, en aquest projecte es desenvolupa una eina per la regulació del tràfic, per tant, és de suposar que tindrà un impacte ambiental.

Per una banda, el projecte té un impacte negatiu ja que treballem amb dispositius electrònics que degut als materials dels que està format, com podrien ser coure, crom,... al ser reciclats poden suposar la contaminació de rius, llacs, àrees verdes,... Aquesta emissió d'elements tòxics al medi ambient pot generar desequilibris en els ecosistemes.

Per altra banda, al estar desenvolupant un sistema de regulació de tràfic, obtenim informació valuosa per a poder desenvolupar de forma més sostenible projectes posteriors, ja que serem capaços de distribuir millor el tràfic de les vies i per tant reduir el nombre de vehicles que circulen i el temps que aquests s'hi troben circulant. A més a més, si fóssim capaços de desenvolupar un programa totalment funcional i capaç de oferir els mateixos serveis que els sistemes actuals, el sensor utilitzat tindria menys impacte sobre el medi ambient que sistemes com el llaç inductiu.

9 CONCLUSIONS DEL TREBALL

Com s'ha explicat a l'inici del treball, l'objectiu és dissenyar un codi de programació pel sensor RP LIDAR A1M8 que sigui capaç de fer el recompte de vehicles i calcular les seves respectives velocitats en una via de trànsit rodat, que aquesta alternativa sigui més econòmica que les alternatives actuals i que dins de les prestacions que ens ofereix el sensor intentar igualar o millorar les prestacions que ens donen les altres alternatives.

Com s'ha vist en el treball, el primer objectiu es compleix parcialment, ja que s'ha aconseguit fer un recompte precís dins de les limitacions següents:

- Via màxima de 3 carrils
- Via d'un sol sentit de la marxa
- Els vehicles no es poden aturar en cap moment

La primera limitació té a veure amb les pròpies prestacions del sensor, ja que té un rang de mostreig limitat. Però les dues últimes són degudes al disseny del programa.

El segon objectiu s'ha complert en la seva totalitat, ja que s'aconsegueix un estalvi molt significatiu (68%) respecte l'altra sistema d'aforament de vehicles estudiat.

Per últim, el tercer objectiu no s'ha complert, ja que el programa dissenyat no és capaç de diferenciar entre vehicles, ni calcular la velocitat d'una manera precisa o com s'ha vist en el punt anterior, no permet fer el recompte de vies on els vehicles es paren, per tant els serveis que podríem oferir són inferiors als sistemes actuals d'aforament de vehicles.

10 PROPOSTES DE MILLORA

S'ha pensat de quina manera es podria millorar el dispositiu, i s'ha pensat en dues possibles millores:

- Redissenyar el programa per tal de que sigui capaç de fer el recompte de vehicles en totes les situacions que poden aparèixer en una via de trànsit rodat. Ja sigui la possibilitat de que els vehicles es puguin aturar com la possibilitat de el doble sentit de la via. Una directriu a seguir crec que seria trobar la manera de poder calcular millor la velocitat del vehicle en tot moment i d'aquesta manera poder saber cap a on es pot dirigir. Així es podrà preveure amb anterioritat els moviments del vehicle i es podrà comparar les dades més fàcilment.
- Redissenyar el programa perquè no es perdin la meitat de les dades (Figura 5), sinó que es pugui col·locar el sensor entre dues vies i així poder-les analitzar a la vegada. Seria una manera d'estudiar dues vies amb un mateix sensor.

11 AGRAÏMENTS

Al Jesús, per donar-me la oportunitat de fer aquest treball i suport sempre que l'he necessitat.

A la meva família pel seu suport, en especial a la meva mare, que gràcies als seus consells i reflexions he pogut solucionar problemes i arribar més lluny en aquest projecte.

12 BIBLIOGRAFÍA

ENSTABretagneRobotics. (20 de Setembre de 2018). *Github*. Obtenido de <https://github.com/ENSTABretagneRobotics/Hardware-MATLAB/blob/master/RPLIDAR.h>

Madrid, Hospital Carlos III. (2017). *Madrid.org (contratos públicos)*. Obtenido de <http://www.madrid.org/contratos-publicos/1354647556011/1109266180653/1354647557252.pdf>

MATHWORKS. (s.f.). *Mathworks*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/help/matlab/>

Plataforma Tecnológica Español de la Carretera. (2011). *ptcarretera.com*. Obtenido de https://www.ptcarretera.es/wp-content/uploads/2015/09/Cuaderno-PTC_1-2011_Sistemas-de-adquisici%C3%B3n-de-control-de-tr%C3%A1fico.pdf

SLAMTEC. (12 de Febrer de 2020). *Slamtec*. Obtenido de http://bucket.download.slamtec.com/7fe7e3656e811ab1a645753af40809f05fa7ddcd/LD108_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A1M8_v2.4_en.pdf

Tecnoparking. (Abril de 2020). *Tecnoparking.com*. Obtenido de <https://tecnoparking.com/tienda/lazo-magnetico/160-lazo-magnetico-bm10-para-detectar-el-paso-de-vehiculos.html>